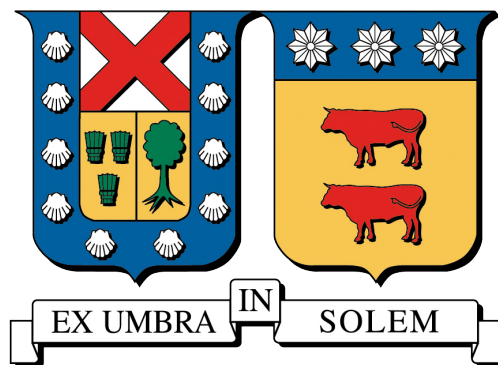


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
VALPARAISO, CHILE



MANEJO RESPONSABLE DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS

NICOLÁS VALENZUELA MACKENZIE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL ELECTRÓNICO

PROFESOR GUÍA : MARCELO PÉREZ LEIVA
PROFESOR/A CORREFERENTE : FRANCO JORQUERA PEZOA

SEPTIEMBRE, 2024

Casa Central

Índice general

Resumen Ejecutivo	5
Abstract	6
1 Introducción	7
1.1 Contexto	7
1.2 Economía lineal y circular	9
1.3 Objetivo	10
1.4 Descripción de los próximos capítulos	10
2 Legislación	11
2.1 Necesidad de una legislación	11
2.2 Legislación a nivel mundial	12
2.2.1 Inglaterra	14
2.2.2 Estados Unidos	15
2.2.3 Canadá	16
2.2.4 China	16
2.2.5 India	17
2.2.6 Africa	17
2.2.7 América Latina	18
2.3 Legislación a nivel nacional	18
2.4 Discusión	20
3 Impacto Ambiental	22
3.1 Clasificación de los residuos	22
3.2 Materiales y sus efectos perjudiciales	23
3.3 Reutilización de materiales en productos electrónicos	26
3.4 Discusión	27

4	Impacto económico	28
4.1	Economía Lineal y circular	28
4.2	Oportunidad de ingresos en la economía circular	30
4.3	Empresas de reciclaje	31
4.3.1	Mercado nacional	31
4.3.2	Mercado internacional	33
4.4	Obsolescencia programada	33
4.5	Comportamiento de los consumidores	34
4.6	Discusión	35
5	Impacto Social	36
5.1	Comportamiento de los consumidores	36
5.2	Iniciativas	37
5.3	Discusión	37
6	Propuesta para la gestión de la RAEE	38
6.1	Propuesta para el ámbito ambiental	38
6.2	Propuesta para el ámbito económico	39
6.3	Propuesta para el ámbito social	39
7	Conclusiones	41
7.1	Resumen	41
7.2	Conclusiones	42
7.3	Trabajo futuro	43
	Bibliografía	44

Índice de figuras

1	Cantidad de basura generada a nivel mundial[1].	8
2	Basura recolectada (Toneladas) en Chile en los sectores del país.	9
3	Diagrama de economía circular y lineal.	9
4	Porcentaje de desechos electrónicos recolectados por países de Europa.[2] .	13
5	Estados con una legislación que gestiones la RAEE (Azul).	15
6	Partes del cuerpo y los elementos que resultan perjudiciales para estos. . .	24
7	Porcentaje de residuos electrónicos que son recogidos y reciclados[2]. . . .	25
8	Tabla periódica, materiales usados en celulares en color azul[15].	26
9	Diagrama de las etapas de una economía circular simplificado.	30
10	Ciclo de vida de un celular en la economía circular.	30
11	Jerarquía usada en la empresa	32
12	Años de vida útil de los aparatos electrónicos.[24]	34
13	Ventas de productos y servicios de Apple[22].	35

Resumen Ejecutivo

La basura electrónica es un problema que ha aumentado con los años debido a diversos factores como el comportamiento del consumidor y la gestión de recursos en las etapas de producción de los aparatos. Esto genera grandes cantidades de residuos que, al no gestionarse correctamente, tienen un impacto negativo en el medio ambiente. Algunos de los materiales utilizados en los componentes de los dispositivos tecnológicos son perjudiciales para el ambiente y los seres vivos, y al no ser biodegradables, perduran en el ecosistema durante largos períodos.

En este documento se analizarán diversas perspectivas del problema, incluyendo los puntos de vista legislativo, económico, ambiental y social. Se examinarán los factores que influyen en la generación de residuos, las medidas que se han aplicado, la economía que surge en torno a la economía circular. También, se ejemplificará con iniciativas que contribuyen a una mejor gestión de la basura electrónica. Finalmente, se propondrá una legislación que aborde los problemas asociados, mejore las leyes vigentes e integre nuevos actores en la solución de este problema.

Abstract

Electronic waste is a problem that has increased over the years due to various factors such as consumer behavior and resource management during the production stages of devices. This results in large amounts of waste that, if not properly managed, harm the environment. Some of the materials used in the components of technological devices are harmful to the environment and living beings. Since they are not biodegradable, they persist in the ecosystem for long periods. This document analyzes various perspectives of the problem, including legislative, economic, environmental, and social viewpoints. It examines the factors that influence waste generation, the measures that have been applied, the economy generated around the circular economy, and examples of initiatives that contribute to better electronic waste management. Finally, it proposes legislation that addresses the associated problems, improves existing laws, and integrates new stakeholders into the solution of this issue.

Capítulo 1

Introducción

La basura electrónica también denominada e-waste o RAEE (según los estándares de la Unión Europea), se puede definir como todo desecho proveniente de un equipo eléctrico o electrónico, así como los aparatos después de terminar su vida útil, la basura generada en la producción de estos, baterías entre otros. Este es un problema que impacta la sociedad en diversas áreas, como lo es el medio ambiente, la salud de las personas, la legislación para abarcar dicho problema o la economía. También, se han gestionado diversos programas e iniciativas para lidiar con la misma, en este documento se explorarán las diversas áreas del problema y su impacto.

1.1. Contexto

En la actualidad se sostiene una creciente demanda de productos eléctricos y electrónicos, lo cual implica una mayor producción de los mismos para satisfacer la demanda. El problema de este aumento es la basura que se genera tanto en las etapas de producción como al término de la vida útil de estos productos, generando así millones de toneladas como se observa en la figura 1 ascendiendo desde las 44,4MTon en el año 2014 a 59,4MTon en el año 2022, siendo China, Estados Unidos e India los que aportan la mayor cantidad de basura con 10,1MTon, 6,9MTon y 3,2MTon respectivamente[2]. Estas cantidades de basura se generan no solo por el aumento en la demanda de equipos electrónicos, sino por la falta de opciones para reparar dichos productos y el ciclo de vida de los mismos. Ambos

problemas se relacionan con las etapas de diseño, y la forma en que las empresas abordan este problema.

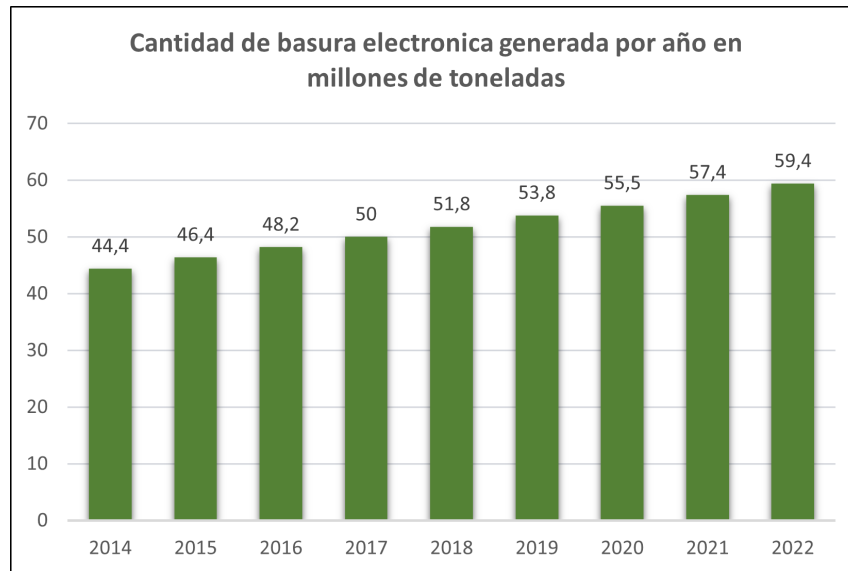


Figura 1: Cantidad de basura generada a nivel mundial[1].

Esta basura tiene un impacto en las diversas áreas de la sociedad, ya que, ciertos materiales pueden ser perjudiciales tanto para la salud de las personas, y también para el medio ambiente, como el mercurio y el arsénico. Por otro lado, se han creado diversas medidas para poder lidiar con el problema, entre ellas podemos encontrar las leyes que responsabilizan a las empresas por la basura que deriva de sus productos y también métodos para facilitar la extracción de componentes, los cuales son reutilizados para obtener una nueva fuente de materia prima.

En el año 2020 se generó un promedio de 11,6Kg de basura electrónica por habitante en Chile, con 200 toneladas en total, de las cuales se maneja solo el 3 % de forma adecuada[3]. Esto se debe a la falta de infraestructura necesaria para el depósito de desechos electrónicos, junto a la falta de control sobre la basura desechada por los consumidores. Como se muestra en la figura 2, la mayor cantidad de basura recolectada se centra en el centro de Chile.

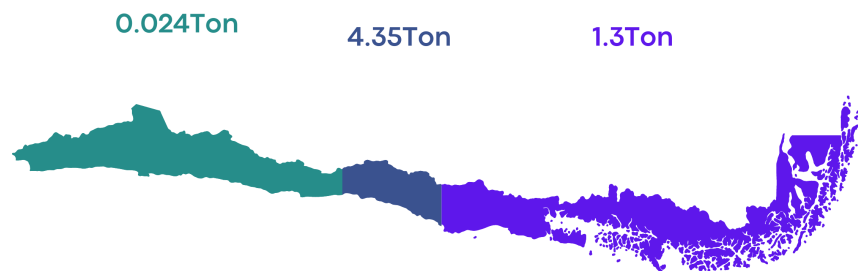


Figura 2: Basura recolectada (Toneladas) en Chile en los sectores del país.

1.2. Economía lineal y circular

La recolección y reciclaje de RAEE, junto a las políticas creadas para regular esta, tienen un impacto en la economía, ya que incentiva una economía circular en vez de una economía lineal. Esto consiste en darle utilidad a los materiales de los aparatos electrónicos después de alcanzar su vida útil. Como se muestra en el diagrama 3, en la economía circular, a diferencia de la economía lineal; después del consumo de un producto, este pasa a recolección para luego ser reciclado en vez de ser desechado, creando así una segunda fuente de materia prima para la producción. Para que se pueda cumplir este ciclo se debe poder reciclar los materiales del aparato. En promedio, el 72 % de los materiales de un aparato electrónico son reciclables, algunos de estos son: aluminio, cobre, oro, plástico, níquel, metales ferrosos, entre otros[7].

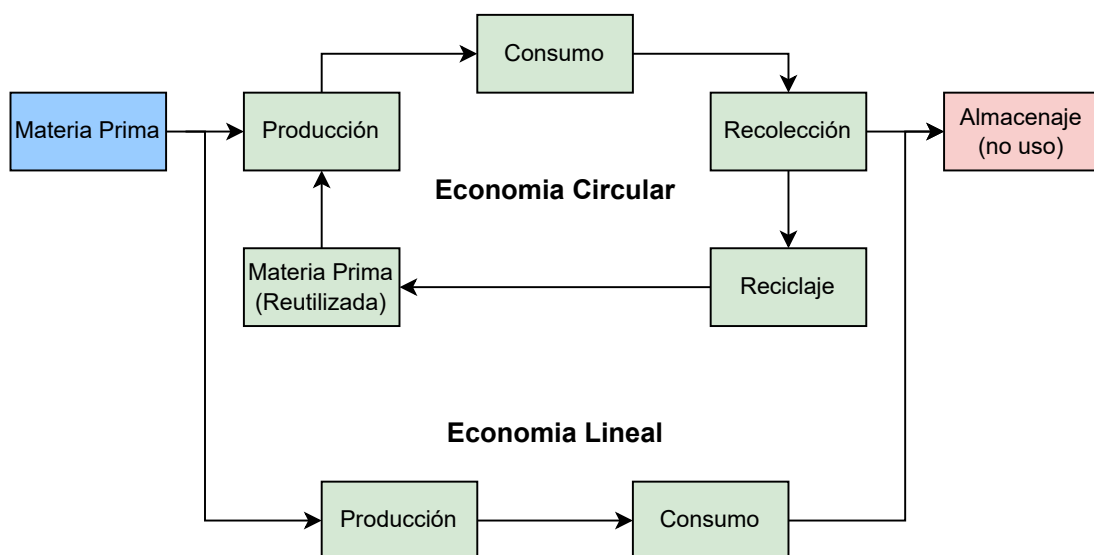


Figura 3: Diagrama de economía circular y lineal.

1.3. Objetivo

En esta memoria se analizan los desechos electrónicos desde distintas perspectivas, con el fin de proponer una solución aplicable a nivel nacional, para esto se plantean los siguientes objetivos:

- Analizar la gestión de basura electrónica desde una perspectiva; legal, económica, ambiental y social, buscando que medidas han resultado exitosas a nivel nacional e internacional, cuáles medidas no han funcionado y que factores se deben abarcar en una propuesta.
- Hacer una propuesta que abarque los apartados ambientales, sociales, económicos y legislativos.

1.4. Descripción de los próximos capítulos

Se analizan las distintas perspectivas del problema mediante una mirada; ambiental, económica, social y legal, por lo cual se puede resumir los detalles que se estudian en los siguientes capítulos:

- En el capítulo del ámbito legislativo, se describe la necesidad de la existencia de una legislación, la legislación aplicada a nivel nacional e internacional y los resultados de estas.
- En el capítulo del impacto ambiental, se analizarán los materiales usados en dispositivos electrónicos, los efectos que tienen estos en el medio ambiente y la salud de las personas. También, se estudian empresas que usen medidas para gestionar los materiales usados en sus productos, como lo es el reciclaje.
- El impacto social tiene un apartado donde se analiza el comportamiento del consumidor y como este es parte de la generación de basura electrónica. También, se examinan iniciativas que incentiven a los consumidores a modificar su comportamiento.
- El impacto económico contará de una revisión de la economía circular, un análisis del mercado que se ha creado en torno a esta, con ejemplos de empresas en este rubro y la oportunidad de dicha economía como negocio.

Capítulo 2

Legislación

Para la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), es esencial contar con una legislación que controle y fiscalice el manejo responsable de estos residuos. El Estado es el único agente con la capacidad de regular la generación de basura y sancionar legalmente a las organizaciones que no cumplan con las normativas. Aunque existen otras formas de incentivar la gestión de basura, como se detallará en los apartados siguientes, la legislación ha demostrado ser una forma efectiva de gestionar la RAEE.

2.1. Necesidad de una legislación

A lo largo de los años ha aumentado el número de países que tienen alguna política para la gestión de RAEE siendo la directiva de la Unión Europea una de las primeras que abarcan directamente el problema (2012). En el año 2014 el 44 % de la población mundial estaba cubierta, siendo un total de 61 países los que establecen dichas políticas. Este número ascendió al 71 % con un total de 78 países en el año 2019 [2]. La iniciativa Solving the E-waste Problem (StEP) plantea los siguientes principios para la creación de legislaciones en la gestión de RAEE:

- Establecer un marco legal para la recogida y reciclaje de desechos electrónicos.
- Introducir la responsabilidad extendida del productor para que estos financien el reciclaje y recogida de RAEE.

- Hacer cumplir las legislaciones fortaleciendo los mecanismos de monitoreo y cumplimiento de la misma.
- Crear las condiciones de inversión para que los recicladores experimentados puedan traer la experiencia necesaria al país objetivo.
- Crear un sistema de licencias o fomentar la certificación para la recolección y reciclaje.
- Si existe un sistema informal para recoger RAEE, asegurar que el material recolectado sea llevado a recicladores certificados mediante incentivos.
- Si no existe la posibilidad de hacer el procesamiento final de una parte de la RAEE, asegurar que esta sea transportada a lugares internacionales y licenciados que puedan hacer este proceso.
- Que los costos de funcionamiento sean transparentes e incentivar la competencia en la recolección y reciclaje de RAEE para obtener una gestión eficiente de los recursos.
- Asegurar que todos los grupos de interés en la recogida y reciclaje de RAEE sean conscientes del impacto que esta tiene en el medio ambiente y en la salud de las personas.
- Crear conciencia en los consumidores sobre los beneficios ambientales del reciclaje.

2.2. Legislación a nivel mundial

Entre las más relevantes políticas aplicadas, se puede destacar la directiva creada por la Unión Europea, la cual tiene como objetivo disminuir los residuos de aparatos electrónicos, esto fomentando una producción y consumo sostenible. Dicha política promueve el reciclaje y la reutilización, añadiendo la ley de responsabilidad extendida del productor (REP). Esta ley hace responsable a la empresa de la basura derivada de sus productos, lo que obliga a las productoras a financiar el manejo de los residuos producidos. Este tiene un fuerte impacto en el diseño y planificación de los aparatos, ya que se deben diseñar tomando en cuenta su reutilización, actualización, reciclaje y la vida útil de la misma, esto puede ser cambiando los materiales utilizados, con materiales que puedan cumplir la misma función, pero que sean más fáciles de reciclar o que sean biodegradables. También, se puede diseñar pensando en los componentes adicionales que trae el dispositivo, por ejemplo, la marca Apple no incluye audífonos en sus celulares, debido a que no existe la necesidad de comprar

nuevos audífonos si se tenían con anterioridad, lo cual ahorra una cantidad innecesaria de aparatos para el usuario, también el cambio de entrada en el cargador del celular, ya que la normativa Europea así lo exige, este cambio logra disminuir también la cantidad de cargadores en vigencia, ya que elimina la necesidad de tener mas de un tipo de cargador para los diversos dispositivos adquiridos por el consumidor. Por otro lado, se piensa en la necesidad de crear aparatos modulares, a los cuales se puedan intercambiar piezas en vez de comprar un nuevo aparato, por lo cual, se puede entender que esta iniciativa legal fomenta el diseño ecológico de los aparatos electrónicos.

A partir del año 2016, la directiva establece que se debe alcanzar un índice mínimo de recogida de RAEE, que corresponde al 45 % del peso promedio que tengan los aparatos que introducen en el mercado, este valor aumento a 65 % en el año 2019. Si bien se pueden crear políticas respecto a la gestión de RAEE, el problema esta en garantizar el cumplimiento de las mismas, por ejemplo, si bien se establece un objetivo del 65 %, según lo que se observa en la figura 4, para los países muestreados, menos de la mitad cumple con dicho objetivo, siendo sólo dos, Hungría con un 61 % y Bulgaria con un 79 % [2].

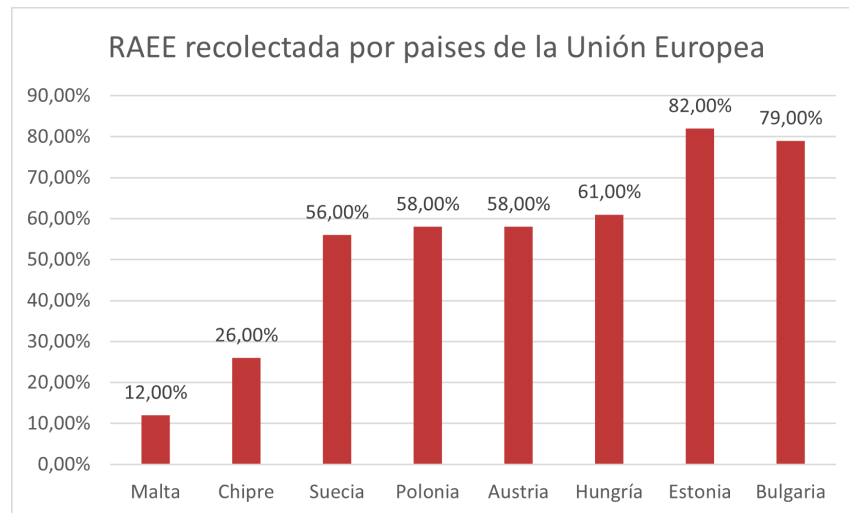


Figura 4: Porcentaje de desechos electrónicos recolectados por países de Europa.[2]

La Convención de Basilea es un tratado multilateral que busca evitar el comercio perjudicial de residuos peligrosos para el medio ambiente y la sociedad. Abierta para firmas en 1989 y en vigor desde 1992, cuenta con 187 países firmantes. La convención regula el manejo de residuos peligrosos, incluidos los residuos electrónicos, que contienen elementos dañinos.

Establece un proceso de notificación y aprobación para el movimiento transfronterizo de estos residuos. Permitir la reutilización de equipos es compatible con el objetivo de la Convención de Basilea de reducir la generación de residuos. Esto se debe a que prolongar la vida útil de los aparatos electrónicos disminuye la cantidad de residuos peligrosos.[19]. En Chile por ejemplo, se almacenan pantallas TRC, sus conectores y condensadores son enviados posteriormente a plantas de reciclaje en Bélgica, la principal razón por la cual se exporta la basura en América Latina es por la falta de alternativas o mejores opciones para procesar desechos en otros países, tales como; Estados Unidos, Corea, Japón, Bélgica entre otros[20].

2.2.1. Inglaterra

En el año 2018, Inglaterra implementa la "Directiva sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónico", la cual establece obligaciones para productores y distribuidores de aparatos eléctricos y electrónicos. Los productores que generen más de 5 toneladas al año de RAEE deben unirse al sistema de cumplimiento del productor en el cual se destacan las siguientes obligaciones[29]:

- Los productores deben financiar la recogida, el tratamiento, la recuperación y la eliminación de RAEE.
- El peso en basura de cualquier batería se reporta y está cubierta por la normativa de residuos de pilas y baterías, por lo cual se resta de la RAEE.

La directiva establece las siguientes obligaciones para distribuidores:

- Ofrecer recogida gratuita de RAEE.
- Aceptar de forma gratuita la RAEE suministrada por los clientes.
- Mantener registros de la RAEE retirada por al menos 4 años.

2.2.2. Estados Unidos

Los Estados Unidos no cuentan con una legislación nacional para la gestión de residuos electrónicos, pero 25 estados han implementado algún tipo de legislación, los cuales se presentan en la figura 5. Estas leyes estatales varían entre sí, y prohíben o no que los consumidores desechen electrónicos en vertederos. Estas leyes cubren al 75-80 % de la población del país. Excepto California y Utah, todos los estados con legislación usan un enfoque de Responsabilidad Extendida del Productor.

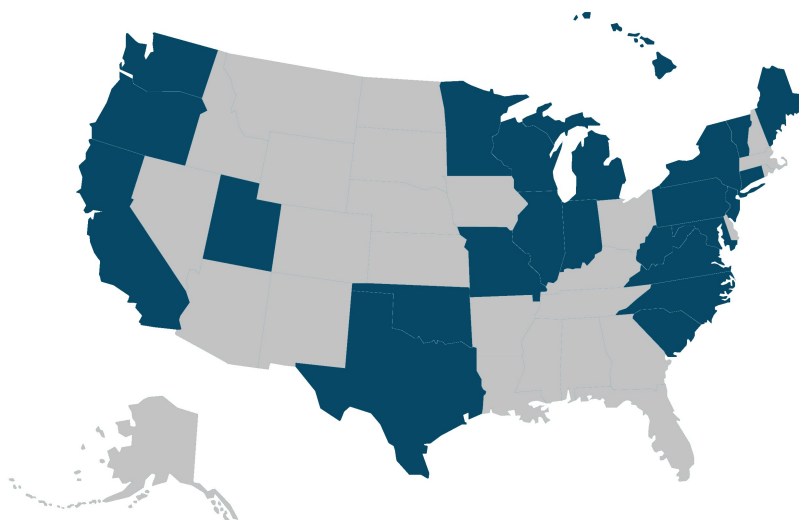


Figura 5: Estados con una legislación que gestione la RAEE (Azul).

Entre las leyes propuestas en los distintos estados se pueden destacar[27]:

- California: Los fabricantes de equipos electrónicos deben implementar un plan para la recolección, consolidación y reciclaje de desechos electrónicos.
- Washington DC: Los fabricantes, o las asociaciones u organizaciones que los representan, deben registrarse en el Departamento de Energía y Medio Ambiente, pagar una tarifa de registro, presentar un plan de recolección y reciclaje e informar anualmente sobre las actividades de recolección y reciclaje.

- Utah: Según la Ley de eliminación de desechos electrónicos de Utah, los fabricantes de dispositivos electrónicos de consumo deben implementar un sistema de recolección, reutilización o reciclaje. Los fabricantes pueden implementar uno de los tres 3 tipos de programas elegibles.
- Oregon: La obligación de reciclaje de un fabricante se basa en una parte de la devolución de un objetivo de reciclaje per cápita a nivel estatal. Los fabricantes son responsables de su parte de la devolución de una tarifa de implementación y de cubrir los costos de su marca de dispositivos electrónicos de consumo recolectados de los consumidores en Oregón.

2.2.3. Canadá

Canadá no cuenta con una legislación nacional sobre la gestión de residuos electrónicos, ya que la agencia federal no tiene la autoridad para imponer tales leyes. Sin embargo, 12 provincias y territorios han implementado sus propias regulaciones, estableciendo programas gestionados por la industria[2].

2.2.4. China

China es el mayor productor de desechos electrónicos a nivel mundial con 10,1MTon anualmente, el gobierno mediante el ministerio de ecología y medio ambiente ha implementado diversas medidas para reducir la producción del mismo, de las cuales se destacan las siguientes[26]:

- Prohibición de Importaciones: Desde el año 2000, se prohíbe la importación de varias categorías de desechos.
- Fomento de Producción Limpia: En 2003, se alentó a los productores a promover una producción más limpia y un diseño ecológico.
- Principios 3R y Quién Contamina Paga: Desde 2006, se aplican los principios de Reducir, Reutilizar, Reciclar junto con el principio de quien contamina paga, con disposiciones para el diseño ecológico y la gestión de desechos electrónicos.

- Reglamento sobre Residuos Electrónicos: El Reglamento sobre la administración de la recuperación y eliminación de residuos de productos eléctricos y electrónicos, establece requisitos para la recolección, reciclaje y eliminación de desechos electrónicos.
- Restricciones sobre Sustancias Peligrosas: Implementación de restricciones al uso de sustancias peligrosas según las lo establecido en el Convenio de Basilea.
- Responsabilidad Ampliada del Productor: Aplicada en 2012 para mejorar la eficiencia en la utilización de recursos.
- Fondo Especial para el Reciclaje: Creación de un fondo en 2012 para ayudar al reciclaje de residuos electrónicos.
- Certificación de Aparatos y Empresas de Reciclaje: Requisitos de certificación adecuada para aparatos usados y empresas de reciclaje.
- El Programa de reembolso de electrodomésticos viejos por nuevos implementado en 2009.
- Iniciativa de Civilización Ecológica: Establecimiento de normas de seguridad y promoción de la economía circular, incluyendo la construcción de instalaciones de desmontaje de RAEE.

2.2.5. India

En 2011, se introdujeron las Reglas de Gestión y Manejo de e-Waste, que regulan la gestión del e-waste desde la fabricación hasta el reciclaje. Se establecieron centros de recolección para residuos de equipos eléctricos y electrónicos al final de su vida útil. En 2016 se estableció la ley de responsabilidad extendida para que los aparatos electrónicos fueran recogidos y enviados para su reciclaje o restauración al final de su vida útil [2].

2.2.6. Africa

Actualmente, se están desarrollando legislaciones para abarcar el problema de la RAEE en África, pero la mayoría de los países no cuenta con una legislación que abarque directamente

el problema, también se tienen problemas para fiscalizar dicha legislación y el reciclaje se da de forma informal[2]. Entre los avances que se están desarrollando se destacan:

- Nigeria: Formación de la organización de responsabilidad extendida del producto para residuos electrónicos.
- Ghana: Elaboración de directrices para todas las etapas (recolección, transporte, tratamiento y eliminación) de la gestión de la RAEE.

2.2.7. América Latina

En América Latina son pocos los países que establecieron legislaciones que abarcan directamente los desechos electrónicos, como lo es Chile con la ley de responsabilidad extendida o Brasil con el sistema de lógica inversa. El sistema de lógica inversa es un sistema en el cual los grupos de interés (consumidores, productores, ministerio de medio ambiente, etc) son parte de un sistema de gestión de RAEE, en este cada actor tiene una responsabilidad asociada, como se destaca a continuación[28]:

- Los consumidores deben separar la basura y eliminar sus datos antes de ser entregados en centros de recolección de RAEE.
- Las Asociaciones de recicladores deben seguir los procedimientos legales para ser parte del sistema de lógica inversa.
- Los fabricantes e importadores de productos electrónicos deben reciclar o eliminar adecuadamente los desechos electrónicos recolectados.
- Los servicios públicos deben crear campañas y programas para la gestión de la RAEE.

2.3. Legislación a nivel nacional

El gobierno de Chile apoya y financia varias iniciativas con el fin de desarrollar programas no solo para la recolección y reciclaje, sino también para otros ámbitos, un ejemplo de esto es la fundación Chilenter, la cual trabaja en: instalación de puntos verdes, gestión de RAEE, certificación de reciclaje, talleres y charlas, entre otros, este también reacondiciona

equipos para ser entregados a colegios. En los últimos 20 años, esta fundación a entregado 113.000 computadoras a colegios y organizaciones[9].

En 2016 se implementó la ley de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor (REP), la cual hace responsable a las empresas de los desechos que derivan de sus productos, esta ley establece una serie de principios los cuales se deben cumplir[8]:

- El que contamina paga: El generador de un residuo es responsable de su gestión y debe asumir los costos y las externalidades negativas asociadas.
- Jerarquía en el manejo de residuos: El manejo de residuos debe seguir un orden de preferencia: prevención, reutilización, reciclaje, valorización energética y, como última opción, eliminación, según marcos legales y económicos.
- Precautorio: La falta de certeza científica no debe ser excusa para no implementar medidas que disminuyan riesgos ambientales y de salud humana en el manejo de residuos.
- Responsabilidad del generador de un residuo: El generador es responsable del residuo desde su creación hasta su valorización o eliminación, conforme a la ley.
- Trazabilidad: Se deben establecer procedimientos para conocer la cantidad, ubicación y trayectoria de un residuo a lo largo de su cadena de manejo.
- Gradualismo: Las obligaciones para prevenir y gestionar residuos se establecerán de forma progresiva, considerando cantidad y peligrosidad de los residuos, tecnología, impacto económico y social, y situación geográfica.
- Participativo: La educación y el involucramiento de la comunidad son esenciales para prevenir residuos y fomentar su reutilización y reciclaje.
- Transparencia y publicidad: La gestión de residuos debe ser transparente, permitiendo el acceso de la comunidad a información relevante.
- Inclusión: Se crearán mecanismos de capacitación, financiación y formalización para integrar a los recicladores de base en la gestión de residuos, bajo la responsabilidad extendida del productor.
- Libre competencia: Los sistemas de gestión y operación de residuos no deben atentar contra la libre competencia.

- Preventivo: Acciones y cambios en el uso de insumos y procesos productivos deben buscar evitar la generación de residuos o reducir su cantidad y peligrosidad.

Esta ley exige que las empresas recuperen un porcentaje de los desechos producidos después de que el producto llega al final de su vida útil, este porcentaje es determinado de forma anual por el ministerio de medio ambiente. Esta ley solo aplica para 6 productos prioritarios (Aceites lubricantes, Aparatos eléctricos y electrónicos, Baterías, Envases y embalajes, Neumáticos y Pilas) de los cuales los aparatos eléctricos, electrónicos, pilas y baterías corresponden a desechos electrónicos. La ley también propone un financiamiento para apoyar los mecanismos que gestionaran el cumplimiento de la ley, este permite financiar proyectos, programas e iniciativas asociadas a las municipalidades que promuevan la disminución de desechos, su reciclaje, reutilización o otro tipo de valorización.

La ley exige a las empresas hacerse responsable de sus desechos, por lo cual estas deben invertir en iniciativas de manejo y reciclaje de basura electrónica. Un ejemplo de esto sería la iniciativa Planeta Limpio, la cual ofrece servicios de gestión y manejo de residuos, esta basa sus servicios en la ley REP y es financiada por empresas como; PC Factory, falabella, OXXO, Entel entre otras. Otro ejemplo de esto es la empresa Paniwe, la cual tiene servicios de gestión de RAEE, fundada en el año 2016, sus ventas aumentaron en un 800 % para el año 2019[10].

Se puede destacar como la ley REP impulsa la creación de iniciativas que apoyen el manejo de RAEE, pero también impulsa a las empresas a usar materiales que generen menos desechos con el fin de reducir los gastos que tendrán que hacer estas en el manejo de sus desechos. Esta tendencia se conoce como Ecodiseño y es una alternativa distinta al reciclaje, ya que se disminuye los desechos en las etapas previas a la fabricación del producto.

2.4. Discusión

La ventaja que tiene la legislación es la capacidad de obligar a las organizaciones a ser parte de un ambiente sustentable como lo es la directiva de la Unión Europea o la ley REP en Chile, estas generan una economía circular, haciendo que las empresas tomen medidas para generar menos basura e impulsando la creación de iniciativas de reciclaje y gestión de RAEE.

Si bien estas legislaciones han funcionado en algunos países de la Unión Europea, esto no se presenta en todos los casos, ya que como se observa en la figura 4, no todos los países cumplen las metas de sustentabilidad establecidas por la Unión Europea, esto se podría deber a una falta de fiscalización en dichos países. Finalmente, se puede destacar que las legislaciones mencionadas solo integran directamente al las organizaciones, más no al consumidor, siendo este uno de los motivos por los cuales se genera desechos electrónicos.

Capítulo 3

Impacto Ambiental

Se debe gestionar de forma responsable la basura electrónica, debido a que tiene un impacto en el ecosistema y en la salud de los seres vivos. Este capítulo explorará los efectos perjudiciales de estos materiales, y cómo se gestionan los desechos electrónicos, además de las prácticas y políticas necesarias para mitigar su impacto. También, se discutirá la reutilización de materiales en productos electrónicos, destacando iniciativas y desafíos actuales en este ámbito.

3.1. Clasificación de los residuos

Se debe hacer una clasificación de residuos electrónicos para su posterior tratamiento y para hacer un seguimiento en la gestión de la RAEE, el criterio usado por la Solving the E-waste Problem se ha implementado en la mayoría de países y es usada por la Unión Europea, la cual formula la clasificación de la tabla 1, esta se basa en el propósito, peso promedio, materiales y tamaño usados en los aparatos electrónicos [18] [17], entre sus criterios más relevantes está el tamaño, en el que se considera grande cualquier dispositivo mayor a 50cm. El criterio de clasificación planteado por la StEP es usado no solo por la Unión Europea sino también por países en todo el mundo como por ejemplo Colombia [31], pero también en algunos casos difiere como lo es en el caso de México, en el cual los aparatos de telecomunicaciones y equipos pequeños están en una misma categoría [30]. Hay países que no tienen una clasificación formal como lo es Uruguay pero contienen una clasificación

para los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE)[21].

Clasificación	Aparatos
Intercambio de temperatura	Refrigeradores, congeladores y aire acondicionado.
Pantallas, monitores	Televisores, monitores y computadoras portátiles.
Lámparas	Lámparas LED y lámparas fluorescentes.
Equipos de gran tamaño	Lavadoras, secadoras de ropa y cocinas eléctricas.
Pequeño equipo	Aspiradoras, microondas, tostadoras y cámaras de vídeo.
Pequeños equipos informáticos y de telecomunicaciones:	Celulares, calculadoras y enrutadores.

Tabla 1: Clasificación de RAEE y ejemplos de cada categoría dada por la StEP.

En estas categorías se puede destacar que la mayoría de la RAEE generada proviene de los Aparatos pequeños, correspondiendo al 33 % de la basura generada. Esto se debe a que se venden en mayor cantidad, y su vida útil es menor, a diferencia de los aparatos grandes que tienen una mayor vida útil, por ejemplo, los años donde más se desechan las computadoras portátiles está en torno a los 5 años, mientras que las lavadoras en torno a los 17 años.

3.2. Materiales y sus efectos perjudiciales

La basura electrónica tiene un impacto en el medio ambiente, ya que, los materiales que se usan para los aparatos electrónicos resultan tóxicos. Entre estos se pueden destacar diversos materiales, por lo cual se plantea la tabla 2. Dicho esquema indica diversos materiales, exhibiendo los efectos perjudiciales que causan en la salud de las personas[5]. Dichos materiales están presentes en los desechos electrónicos y al no ser manejados de forma correcta llegan a los vertederos, filtrándose parte de estos en la tierra, agua y aire, inclusive puede llegar a las aguas subterráneas las cuales se usan para suministrar agua al área agrícola y las viviendas en zonas rurales. Se estima que un tubo de luz fluorescente puede contaminar 16.000lt de agua, una batería de Níquel y Cadmio 50.000lt y un televisor 80.000lt[6].

Material	Efectos en la salud
Mercurio	Afecta el sistema muscular y nervioso, causa problemas digestivos
Plomo	Hipertensión, Deficiencia de hierro, Desorden neurológico
Arsénico	Intoxicación, Desorden digestivo, Cancerígeno
Nickel	Problemas al corazón, asma, Cancerígeno
Cromo	Problemas respiratorios, Desorden renal
Bario	Hipertensión, inflamación cerebral, Desorden renal
Cadmio	Daño neural y respiratorio, Cancerígeno

Tabla 2: Materiales y sus efectos[5]

Como se observa en la tabla 2, los materiales que derivan de productos electrónicos tienen diversos problemas para la salud, perjudicando a las partes del cuerpo, como se expone en la figura 6, en la cual se destaca el daño producido en órganos como el cerebro o los pulmones.

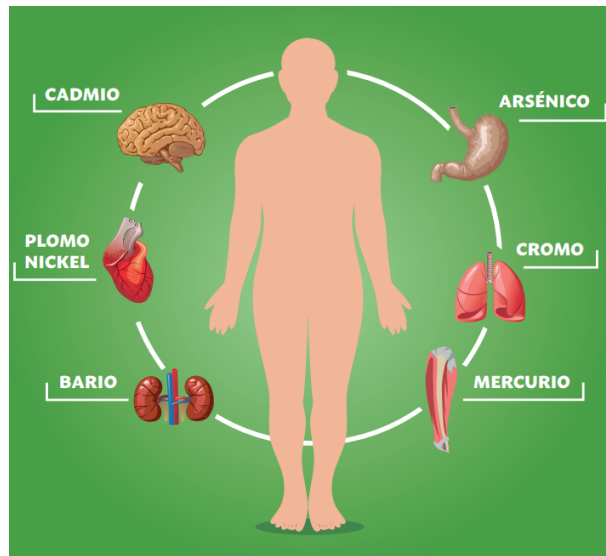


Figura 6: Partes del cuerpo y los elementos que resultan perjudiciales para estos.

Estos desechos no son biodegradables, esto quiere decir que no desaparecen en el ambiente y se desplazan o se transforman. También, al ser quemados, pueden liberar gases tóxicos y contener gases de efecto invernadero, presentes en los refrigerantes de ciertos aparatos que dañan la capa de ozono. Aunque el reciclaje y la reutilización de materiales pueden solucionar parte del problema, es necesario asegurar un manejo responsable de los desechos.

Esto dependerá tanto de los usuarios como de las políticas gubernamentales y de las acciones de las empresas productoras. El problema con esta medida, radica en la dificultad que existe para controlar estas variables, tal como se observa en la figura 7, para el año 2019 se obtiene una tasa máxima de reciclaje y recogida de desechos del 42.5 % en Europa y una mínima inferior al 1 % en África.

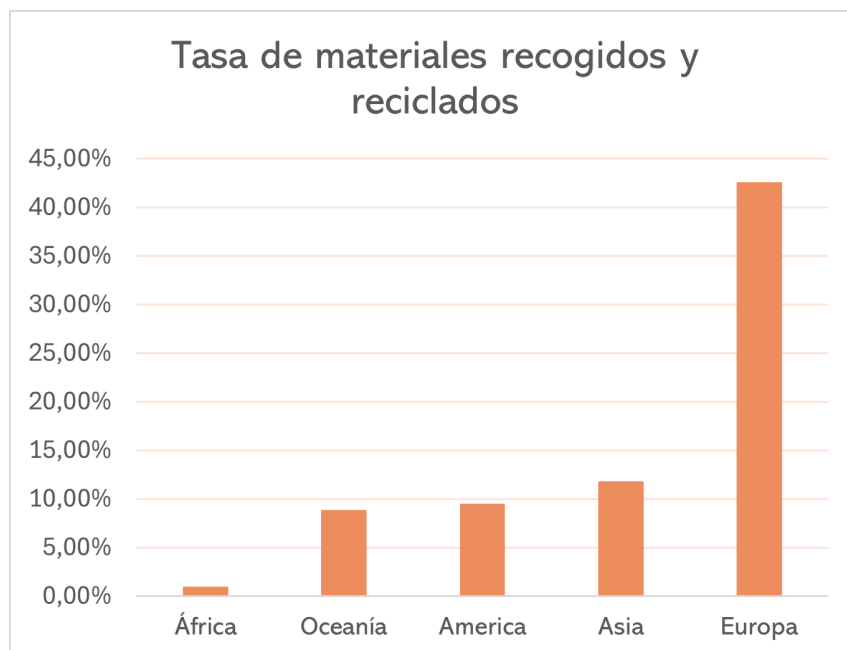


Figura 7: Porcentaje de residuos electrónicos que son recogidos y reciclados[2].

Los resultados de la figura 7 pueden estar sujetos a las políticas existentes en cada continente, por ejemplo, en la Unión Europea se está legislando para eliminar los dispositivos que no usen USB-C para cargar (por ejemplo los celulares Iphone). Con esta medida esperan disminuir la cantidad de cargadores que necesitara una persona para sus dispositivos, disminuyendo así la basura que este pueda producir.

Es posible destacar que muchos de estos elementos que son dañinos para el medio ambiente y para la salud de las personas están presentes en dispositivos de uso diario. Como se muestra en la figura 8, materiales como el Cromo o el Bario se pueden encontrar en algo tan habitual como un teléfono celular.

H																	He
Li	Be															Ne	
Na	Mg											B	C	N	O	F	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Pl	Da	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw				

Figura 8: Tabla periódica, materiales usados en celulares en color azul[15].

3.3. Reutilización de materiales en productos electrónicos

La reutilización es necesaria para tener una economía sustentable, ya que los materiales pueden ser extraídos de los aparatos electrónicos y usados nuevamente en nuevos productos, como lo son metales como; cobre, aluminio o oro. Existen empresas que usan envases provenientes de plástico reciclado, esta tendencia fue adquirida por empresas de tecnología, usando fuentes de reciclaje para los materiales de sus productos.

Con los años la compañía Apple ha aumentado el número de materiales que provienen de la reutilización en sus aparatos, como se observa en la figura 3, en productos como Iphone, Ipad, Apple Watch y computadoras, se usa alguna fuente de origen reciclado.

Material	2017	2019	2021	2023
Titanio	No Certificado	No Certificado	No Certificado	Certificado
Cobalt	No Certificado	No Certificado	Certificado	Certificado
Cobre	No Certificado	No Certificado	No Certificado	Certificado
Zinc	No Certificado	No Certificado	No Certificado	Certificado
Acero	No Certificado	No Certificado	No Certificado	Certificado
Oro	No Certificado	No Certificado	No Certificado	Certificado
Tungsteno	No Certificado	No Certificado	Certificado	Certificado
Tierras raras	No Certificado	Certificado	Certificado	Certificado
Estaño	No Certificado	Certificado	Certificado	Certificado
Plástico	Certificado	Certificado	Certificado	Certificado

Tabla 3: Uso de fuentes de reciclaje en materiales de Apple, si tiene alguna fuente certificada de reciclaje, se marca como Certificado[16].

3.4. Discusión

La exposición a materiales usados en la electrónica tiene efectos perjudiciales en la salud, es por esto que es necesario manejarlos de forma efectiva, se deben almacenar de forma que no se filtren en el medio ambiente, esto en caso de no poder ser reciclados. Por otro lado, solo una cantidad menor de países ha alcanzado las metas de reciclajes establecidas por la Unión Europea. Algunos de los materiales que resultan perjudiciales para la salud se encuentran en dispositivos comunes como los celulares, por lo cual el impacto de desechar estos dispositivos en el medio ambiente es alto[21].

Capítulo 4

Impacto económico

Este capítulo abordará la economía circular y como se crea un mercado en torno a la gestión de residuos electrónicos. Se analizarán las etapas del ciclo de vida de los productos electrónicos, desde su producción hasta su reciclaje. También, se explorará el comportamiento del consumidor y su influencia en la generación de residuos, además de las iniciativas de recolección y reciclaje implementadas por empresas y gobiernos para promover la economía circular. Adicionalmente, se discutirán las oportunidades económicas que surgen de la responsabilidad extendida del productor y las normas aplicadas a nivel nacional e internacional.

4.1. Economía Lineal y circular

Como se explica en el apartado 1.1, la economía circular consiste en reciclar y reutilizar los materiales provenientes de los desechos electrónicos. Para abarcar este sistema más a fondo, se estudiarán las distintas etapas de este ciclo. Primero se analiza la etapa de producción; en esta fase se fabrica el aparato electrónico. Es posible destacar en esta etapa, el diseño del producto y el impacto ambiental generado durante el proceso de fabricación. Para promover una economía circular se opta por diseños modulares con la capacidad de remplazar piezas en caso de que fallen, así se evita la necesidad de comprar un producto nuevo y solo se desecha parte de él. En el impacto ambiental se consideran principalmente 2 componentes, la energía requerida para la producción y las emisiones de CO₂ producidas

durante el proceso. Hay empresas que trabajan para optimizar estos procesos como Apple que disminuyó las emisiones en el transporte de productos un 20 % en el año 2023[16].

En la etapa de consumo, se analizará el comportamiento del consumidor, para eso se observará si los usuarios compran productos de forma responsable. Para ejecutar esta idea se utilizará como ejemplo el celular Iphone de la compañía Apple, este celular tiene en promedio un lanzamiento por año y tal como se observa en los estados financieros de Apple, las ventas han llegado a aumentar en 43MUSD en el trimestre de lanzamiento de dicho celular, por lo cual se establece una correlación entre el lanzamiento del equipo y las compras de los usuarios. Con base en lo anterior se entiende que muchos de los usuarios de la marca cambian de celular todos los años, teniendo en cuenta que la vida útil de un Iphone es de 6 años (obsolescencia programada), se observa que el usuario tiende a cambiar de modelo por comodidad y no por necesidad, porque si bien existe la posibilidad de que el equipo se dañe dentro de ese periodo, la empresa ofrece los medios para reparar el daño como lo es la garantía o la opción de reemplazar las piezas en mal estado.

En la etapa de recolección se destacan los medios creados para la obtención de aparatos electrónicos para su reciclaje. Como se menciona en los otros apartados, existen iniciativas que tienen como finalidad recibir y gestionar la RAEE, estos programas son creados por las propias empresas para recibir sus productos de vuelta, tal como lo hace la empresa Samsung, la cual tiene centros de acopio que reciben elementos de 4 categorías; Grandes y pequeños, electrodomésticos, Telecomunicaciones y aparatos electrónicos de consumo, obteniendo así la posibilidad de gestionar la RAEE producida por sus propios productos[12].

En el reciclaje se destaca la extracción de materiales y la reutilización de dispositivos. Como se menciona en otros apartados, existen iniciativas como Chilenter, que recolecta y distribuye computadores. Por otro lado, se pueden extraer los materiales de dichos dispositivos. Por ejemplo, Apple creó al robot Daisy, diseñado para desmontar los celulares iPhone con el fin de reutilizar sus materiales.

Con base en los apartados anteriores se plantean las etapas de la economía circular de forma simplificada en la figura 9.

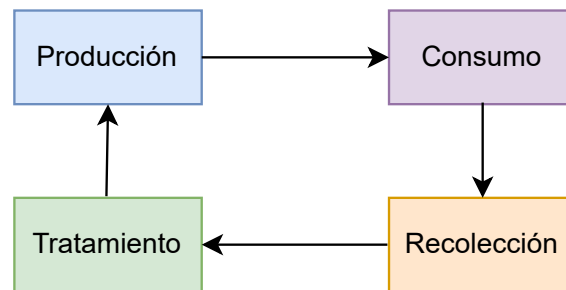


Figura 9: Diagrama de las etapas de una economía circular simplificado.

Se hace un ejemplo de estas etapas para la producción de un celular, con base en la figura 9 obteniendo la figura 10, en la cual se destaca como se crea una segunda fuente de materia prima para la generación de celulares, reutilizando así los materiales.

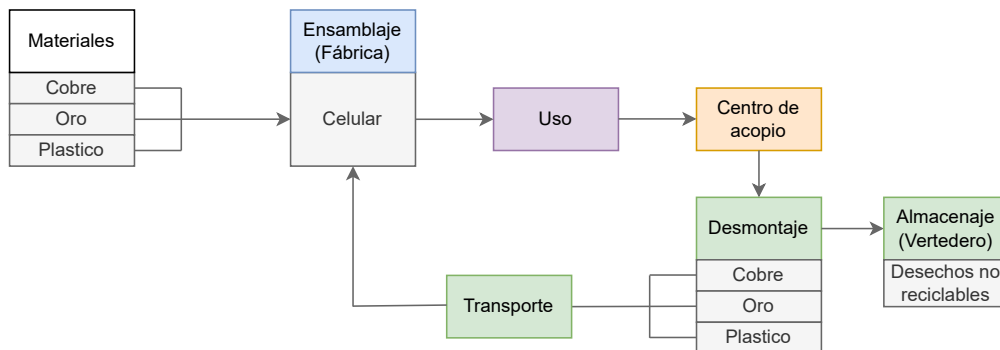


Figura 10: Ciclo de vida de un celular en la economía circular.

4.2. Oportunidad de ingresos en la economía circular

Las legislaciones incentivan la economía circular, pero la obtención de materia prima no es el único ingreso que se puede generar a partir de estas políticas, con la incorporación de la responsabilidad extendida del productor (como lo es la ley REP en Chile). Las iniciativas de manejo de RAEE obtienen una fuente de ingresos, ya que el estado exige a las empresas invertir en dichas iniciativas en función de la cantidad de desechos que generan sus productos.

China es uno de los mayores depósitos de RAEE, esto en parte por qué se genera basura

por la industria propia del país y por qué se exporta de otros países. El poblado de Guiyu se destaca por tener una economía basada en la recolección de basura, ahí se desarmen los aparatos electrónicos para extraer materiales como el cobre o el acero, para posteriormente venderse. De esta manera, si bien existe una economía basada en el reciclaje, este resulta contraproducente para el medio ambiente, ya que se usan métodos que no cumplen con las medidas de seguridad adecuadas para la extracción de material, por ejemplo, al extraer materiales de una pantalla plana, se libera mercurio al medio ambiente.

En Estados Unidos no existe una legislación que regule directamente la gestión de la RAEE, solo dan incentivos fiscales a las organizaciones para que gestionen sus desechos, aun así estos incentivos tienen resultados destacables. La industria del reciclaje de RAEE en Estados Unidos mueve 62.5 mil millones de dólares al año. Sin embargo, a falta de una legislación, las organizaciones pueden ignorar estos incentivos y no ser parte de la gestión de la RAEE.

4.3. Empresas de reciclaje

4.3.1. Mercado nacional

A nivel nacional se puede destacar el impulso en una economía dada por la legislación vigente, como lo es la ley REP la cual impulsa a las empresas a subcontratar iniciativas que gestionen los residuos generados por sus productos.

Se destaca la empresa Recycla Chile S.A. Esta empresa ofrece servicios para la gestión de residuos, estos consisten en Recolectar y pretratar los residuos (desarme, destrucción y clasificación) con el fin de ofrecer sustentabilidad a sus clientes, entre estos se destaca; IBM, Bci, Servipag, Scotiabank entre otros. Estos clientes deben cumplir con la ley de responsabilidad extendida y subcontratan a Recycla para cumplir dicha obligación. Para el año 2023 esta empresa ha procesado 343,6Ton de residuos eléctricos y electrónicos[32].

ProCycla, fundada en 2012 con sedes en España y Chile, brinda servicios de ingeniería y consultoría en gestión ambiental, energías renovables, tratamiento de residuos y entre otros. Esta empresa cuenta con una planta y se encarga de recoger y valorizar la RAEE, ofreciendo certificados de huella de carbono, reciclaje, certificado de destrucción y evidencia fotográfica durante la gestión de la RAEE proporcionada.

Chilerecicla es una planta de reciclaje de residuos electrónicos y eléctricos situada en Chillán. Ofrece servicios para la gestión y reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos, transportándola a su centro y haciendo una obtención de materiales valorizados[35].

Electrónica circular se dedica a especialmente al manejo de RAEE, entre sus servicios se destaca; reciclaje de residuos electrónicos (Calificación, separación y extracción de materiales), transporte, destrucción de discos duros (asegurando la confidencialidad de los datos almacenados) y entrega de certificación en gestión de RAEE[33].

La empresa DEGRAF usa un sistema de gestión basa en la jerarquía de la figura 11, la cual proviene de la ley de responsabilidad extendida, esta propone la recuperación por sobre la eliminación de RAEE. La empresa consta de servicios como; la recuperación y transporte de RAEE, borrado de información y posterior reutilización (reacondicionamiento) o desmantelamiento de los equipos para finalmente vender o donar el material obtenido[34].

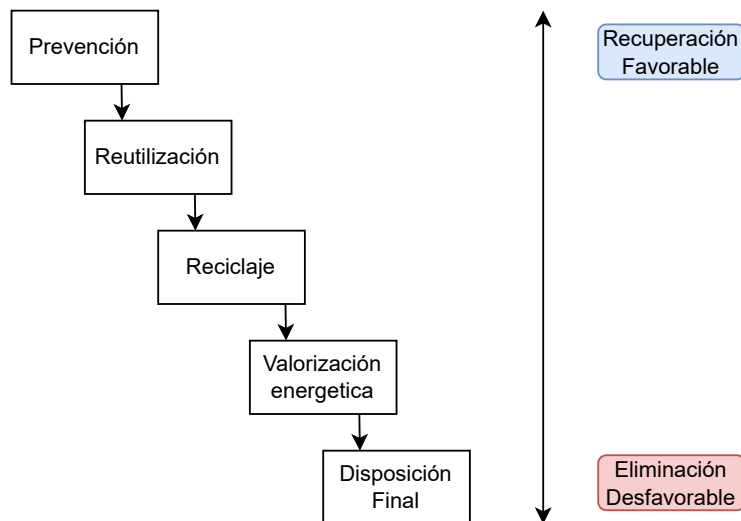


Figura 11: Jerarquía usada en la empresa

Planeta Limpio se dedica al control y gestión de residuos, ayudando a las empresas a cumplir con las leyes ambientales 20.920 y 19.300. Autorizada por el Servicio de Salud y Medioambiente, la empresa ofrece servicios de retiro y traslado de desechos. Este también proporciona reportes sobre el ahorro ambiental y la gestión de residuos[25].

Finalmente, se destaca como la mayoría de empresas abarcan casi todas las etapas de gestión de la RAEE, como lo es; la recolección, transporte, clasificación y valorización, estando presentes en las etapas de Recolección y reciclaje de la figura 3, no todas estas empresas abarcan todas las etapas como lo es Planeta Limpio que solo está presente en la etapa de recolección.

4.3.2. Mercado internacional

En Estados Unidos existen empresas como Securis o Repowered, ambas empresas reciben dispositivos electrónicos los cuales son reciclados o rea-condicionados para su venta, al igual que con Recycla, algunas empresas subcontratan los servicios de estas empresas para gestionar su RAEE. Cabe destacar que a diferencia de Chile, en el mercado Estadounidense se valora la confidencialidad de los datos contenidos en los dispositivos, los clientes requieren que los datos sean eliminados e inclusive algunas de estas empresas cuentan con certificación de dicho servicio.

Las empresas Proambi y E-Wasted solutions en México se encargan de reciclar equipos electrónicos, ofreciendo servicios de reparación y reciclaje de estos, por ejemplo, Proambi en 2022 se logró un ahorro de $27,908Kg$ de CO_2 , al igual que en los otros casos, estas empresas son subcontratadas para la gestión de RAEE.

4.4. Obsolescencia programada

La obsolescencia programada es una estrategia empresarial que consiste en planificar la vida útil del producto, esto puede ser mediante los materiales del aparato o la programación de este. En la figura 12 se observan la vida útil de diversos aparatos, en estos se puede destacar que algunos productos como el celular Iphone tienen actualizaciones de software periódicas, pero estas no se actualizan para todos sus productos, solo para los fabricados en un rango aproximado de 6 años, lo cual vuelve obsoletos a los aparatos salidos mas años independientes del estado de los materiales.

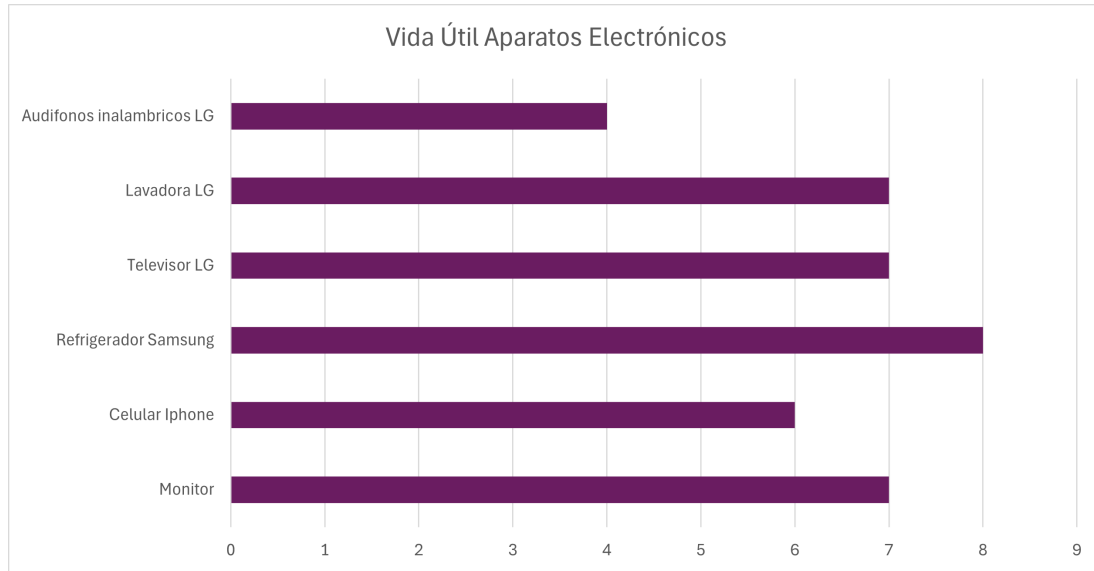


Figura 12: Años de vida útil de los aparatos electrónicos.[24]

4.5. Comportamiento de los consumidores

Los electrodomésticos grandes como lavadoras tienen la mayor probabilidad de ser desechado sobre los 15 años de vida útil[21]. La empresa LG declara que la vida útil de sus lavadoras está en torno a los 7 años, de esta manera es posible destacar que los usuarios optan por no cambiar estos productos a pesar de superar la expectativa de vida dada por el productor. Por otro lado, los aparatos electrónicos pequeños tienden a ser desechados primero y se generan en mayor cantidad. Para analizar el impacto de la obsolescencia programada, se analizará las compras de productos de la marca Apple, se considerarán las ventas de sus productos y el periodo en el cual se compra. Como se observa en la figura 13, Apple tiene una estacionalidad anual, en la cual se destaca un peak de ventas en el último trimestre de cada año, esto puede deberse al lanzamiento de los celulares Iphone que se da en el último semestre de cada año, junto a las festividades que se dan en esas fechas, en cambio, las ventas de servicios no cambian, se puede destacar la tendencia de los usuarios por renovar el modelo en las fechas de salida, considerando que la obsolescencia programada promedio de un Iphone es de 6 años.

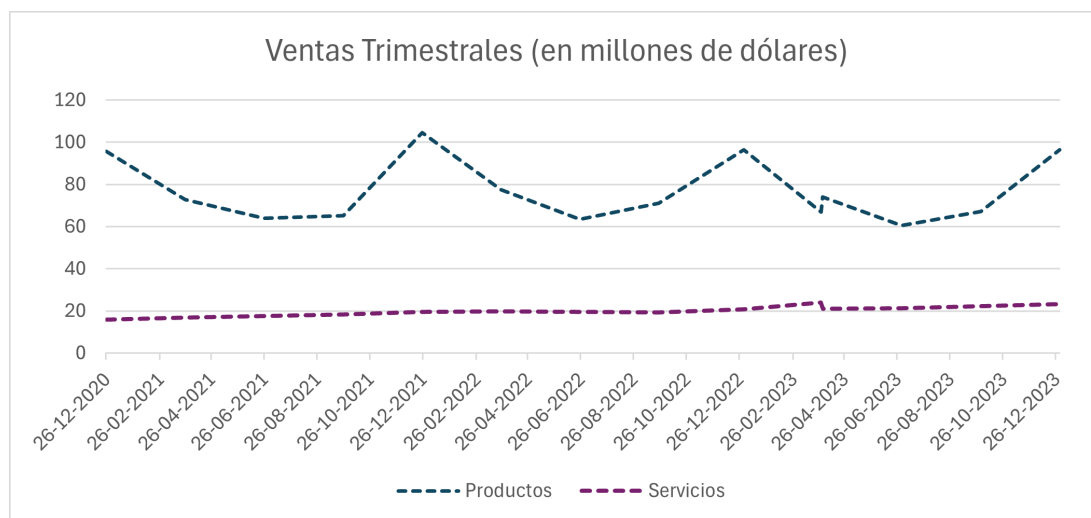


Figura 13: Ventas de productos y servicios de Apple[22].

4.6. Discusión

Alcanzar una economía circular es esencial en la gestión de la RAEE, para esto se deben crear incentivos y fiscalizar a las organizaciones que cumplan con normas que avalen el reciclaje o los diseños sustentables para sus productos, al día de hoy existen legislaciones para incentivar dicha economía. Esto tiene resultados positivos en países como Chile, Estados Unidos, Europa entre otros, no así en países como China, esto debido a que si bien se tienen una economía circular, si no es fiscalizada puede ser perjudicial para el medio ambiente, usando procesos de gran impacto ambiental para la obtención de materiales. Es por todo esto que se debe incentivar una economía circular, pero asimismo fiscalizar los procedimientos usados para ejecutarla.

Todas las etapas de la economía circular contienen aspectos que influyen en la cantidad de basura generada, como lo es el comportamiento del consumidor, los métodos de fabricación y distribución, el diseño, entre otros. Y se pudo observar existen algunas organizaciones que optimizan estos procesos con el fin de reducir el impacto ambiental.

Capítulo 5

Impacto Social

Si bien existen medidas para la gestión de la RAEE, estas se enfocan principalmente en las organizaciones, pero también se debe analizar el comportamiento del consumidor, esto porque es parte fundamental de la gestión de RAEE y sus medidas lo involucran directamente.

5.1. Comportamiento de los consumidores

Se usará nuevamente como ejemplo a China, en el año 2020 se obtuvo que en la provincia de Jiangsu (siendo esta de las provincias más económicamente desarrolladas) un 25 % de las personas reciclan sus celulares en canales formales de reciclaje. Esto indica que existe una intención por parte de los consumidores de reciclar, pero que a su vez existen razones por las que los consumidores se niegan a reciclar y almacenan los celulares en sus casas. Entre estas razones se destacan la privacidad e inseguridad de entregar el celular con información personal almacenada al centro de reciclaje. Como se menciona en apartados anteriores, existen centros de reciclaje que se certifican en la eliminación de información, esto se debe a que los clientes exigen seguridad para eliminar los datos almacenados. Otra de las razones por las cuales no se reciclan los celulares es la posibilidad de usar este como remplazo en caso de que falle el aparato actual[13].

En Bolivia se tiene que tan solo el 19 % les dan un segundo uso a sus celulares, el resto lo almacena o desecha. Con dicho argumento, se destaca la falta de conocimiento de las

personas sobre las regulaciones relacionadas con los RAEE y sobre lo que ocurre con estos después de ser desechados.[14].

En países como Alemania se integra al usuario en la gestión de la basura, esto mediante el sistema Pfand[23], en el cual se paga un depósito por adelantado por la basura y se obtiene una devolución una vez que los residuos son depositados en almacenes establecidos. Este método resultó ser un éxito en el país y se puede extrapolar a los dispositivos electrónicos.

5.2. Iniciativas

Existen iniciativas como Chilenter que incentivan la economía circular con programas en los cuales donan dispositivos reacondicionados a instituciones educativas, concretizando así desde edades tempranas la sustentabilidad. También, hay empresas que ofrecen talleres y charlas como servicio a empresas para informar a las personas sobre el reciclaje, como lo hace la empresa Planeta Limpio.

5.3. Discusión

Solo la menor parte de los consumidores participa en la gestión de la RAEE, esto tiene muchos motivos, entre ellos la desinformación, la desconfianza en la seguridad de sus datos y la retención de los dispositivos en caso de que sea necesario. Esto termina por detener el ciclo de la economía circular, por lo cual se debe integrar a los consumidores en la gestión y capacitarlos respecto a sus responsabilidades como productores de RAEE.

Capítulo 6

Propuesta para la gestión de la RAEE

Se propone una vía legal para poder hacer cambios en la gestión de la RAEE, esta se basara en los principios planteados en la Solving the E-waste Problem, la ley de responsabilidad extendida y la directiva de la Unión Europea. Sin embargo, se busca mejorar aspectos para adaptarlo a la realidad Chilena y considerando aspectos que estas no abarcan. Con base en esto se divide la propuesta en 3 ámbitos; ambiental, económico y social.

6.1. Propuesta para el ámbito ambiental

En el ámbito ambiental se destacan el manejo de los desechos electrónicos de forma responsable con el medio ambiente y el uso de materiales con un menor impacto ambiental. Para eso se proponen las siguientes medidas que abarcan las etapas de fabricación y gestión de residuos:

- Fiscalizar y sancionar la contaminación producida en las etapas de fabricación y distribución de productos electrónicos.
- Penalizar de forma económica el uso de materiales con un alto impacto ambiental (como lo son los materiales mencionados en la tabla 2) en aparatos electrónicos con el fin de incentivar materiales más sustentables.
- Exigir estándares y certificación a centros que manejan y reciclan RAEE, esto ya

que los procesos usados para gestionar la RAEE pueden ser perjudicial para el medio ambiente.

- Establecer metas de sostenibilidad y reciclaje de los desechos retirados.

6.2. Propuesta para el ámbito económico

Se debe impulsar una economía circular, para esto se debe controlar el ciclo de vida del producto, se deben ofrecer incentivos a quienes promuevan una economía circular y sancionar a quienes opten por una economía lineal, eso se logra mediante la ley de responsabilidad extendida, ley que actualmente esta vigente.

- Se debe ofrecer incentivos fiscales a las iniciativas de gestión de la RAEE para facilitar la rentabilidad de esta con el fin de incentivar la inversión en esta área. Una mayor inversión permite mejorar y aumentar la cobertura de estas iniciativas para hacer emerger aun mas este mercado basado en el reciclaje.
- Aplicar la ley de responsabilidad extendida haciendo responsables a las organizaciones por la basura generada en sus productos. Se debe invertir en gestión de RAEE una cantidad economía proporcional a la cantidad de toneladas de basura generada.

6.3. Propuesta para el ámbito social

Se debe integrar al consumidor en la gestión de la RAEE, por lo cual se proponen medidas para que este sea parte de dicho sistema y aporte en mejorar la etapa de consumo en la economía circular, al mismo tiempo, se debe integrar al individuo de forma legal, y se debe capacitar al mismo para que este informado al respecto, por lo cual se propone los siguientes puntos:

- El consumidor pagará un depósito por cada aparato electrónico comprado, este depósito podrá ser devuelto solo si se retira el dispositivo en un lugar certificado para su gestión.
- Invertir en educación respecto la impacto de la basura en niveles tempranos (Educación básica y media), también en el uso y desarrollo de tecnologías que produzcan menos

desechos, como lo son las baterías de litio o los discos duros SSD[11], y finalmente en las opciones existentes para la gestión de RAEE, con el fin de que estos sean capaces de hacerse responsables de la basura generada.

Capítulo 7

Conclusiones

7.1. Resumen

Se pudieron abarcar las distintas áreas del problema en los ámbitos propuestos, obteniendo así una propuesta para la gestión de basura electrónica en Chile. Con todo esto, se pueden resumir los factores analizados en los capítulos, las medidas implementadas y la propuesta para cada una.

En el apartado legislativo se estudiaron principalmente 2 medidas, la directiva de la Unión Europea y la ley de responsabilidad efectiva. Estas medidas fueron efectivas en parte de los países donde se aplicaron, impulsando a las organizaciones a ser parte de una economía circular. Sin embargo, se pudo observar que no todos los países lograron alcanzar las metas propuestas, por lo cual si se hará una propuesta de gestión legislativa, se debe considerar que la fiscalización es importante para que se cumpla.

Los materiales usados en equipos electrónicos pueden ser nocivos para el medio ambiente, producen efectos perjudiciales para los seres vivos y son capaces de destruir ecosistemas. También se considera la permanencia los materiales, ya que no son biodegradables, con base en este problema se debe considerar la posibilidad de cambiar los materiales usados en dispositivos electrónicos.

El comportamiento de los usuarios es de indiferencia ante el problema planteado, solo una

minoría es consciente del problema y esto puede deberse a la falta de responsabilidad legal que tiene el consumidor, por lo cual se propone integrar a este en el sistema de gestión.

La economía circular es impulsada por la legislación que promueve una correcta gestión de la RAEE. Se ha creado un nuevo mercado en torno a la ley de responsabilidad extendida, con iniciativas que logran rentabilizar sus actividades con base en la subcontratación por parte de otras empresas, con el fin de cumplir con los procesos exigidos en la ley. A base de estos resultados, se propone seguir incentivando esta economía con el fin de hacer crecer estas iniciativas y tener una mayor cobertura del problema.

7.2. Conclusiones

Con base en lo estudiado en los distintos apartados, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Los problemas producidos por los componentes de los aparatos tiene un gran impacto en el medio ambiente, son nocivos para la salud y destruyen ecosistemas, por lo cual se debe asegurar su correcta gestión.
- Se debe integrar al consumidor mediante una responsabilidad legal, ya que este no está capacitado, ni es consiente del impacto que está teniendo la RAEE en el medio ambiente.
- Se debe incitar una economía circular mediante iniciativas que gestionen la basura electrónica mediante recogida, reutilización, reciclaje y capacitación de personas. De esta manera, se deben facilitar las condiciones para su rentabilidad, pero impulsando, al mismo tiempo, la fiscalización de los procedimientos usados, para que así, estos tengan el menor impacto ambiental y no resulte contraproducente.
- La legislación que sanciona y controla a las empresas crea como resultado programas para mejorar el impacto ambiental, creando modelos que tienen menor impacto, optimizando así sus procesos e incluyendo a los consumidores en la gestión de la RAEE.

7.3. Trabajo futuro

Si bien la legislación puede promover una economía circular e integrar al consumidor en el sistema de gestión de la RAEE, se deben estudiar nuevas tecnologías que se pueden usar para el reciclaje, ya que no basta con entregar una responsabilidad, sino también, facilitar los medios para completar estos procedimientos de forma adecuada. Existen métodos como la separación magnética o la lixiviación para la extracción de materiales de aparatos electrónicos, los cuales se deben mejorar y estudiar formas de traerlos al país y para poder lograr este objetivo, se necesitan especialistas y recursos acordes a cada uno de los métodos mencionados.

Bibliografía

- [1] MILIĆ, MILJANA AND MLADENović, ALEKSA AND MILOJKović, JELENA (2023). *Innovations in Sustainable Electronic Circuit Design to Reduce Negative Impacts on the Environment*. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10192105>
- [2] FORTI, VANESSA AND BALDE, CORNELIS AND KUEHR, RUEDIGER AND BEL, GARAM (2020). *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*. Recuperado de: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf
- [3] FUNDACIÓN CHILE (2023). *Hacia un enfoque circular: Residuos-e*. Recuperado de: <https://fch.cl/iniciativa/residuos-e/>
- [4] MOHAMMED, SANAA AND SINDHU VAARDINI, U (2021). *Analysis on the Growing Problems of E-waste and Implementation of a Circular Economic Approach to Managing E-waste*. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9675772>
- [5] MISRA, NISHA RANI AND KUMAR, SANDEEP AND JAIN, ARPI (2021). *A Review on E-waste: Fostering the Need for Green Electronics*. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9397191>
- [6] FLORES, JAVIER (2023). *La basura electrónica y su peligro para el medio ambiente*. Recuperado de: https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/peligros-basura-electronica_13239
- [7] FUNDACIÓN CHILE (2020). *Guía para comunicadores: Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*. Recuperado de: <https://fch.cl/wp-content/uploads/2020/10/guia-para-comunicadores-y-periodistas-residuos-aparatos-electricos-y-electronicos.pdf>

-
- [8] BCN (2016). *LEY 20920: Ley de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor*. Recuperado de: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894>
- [9] CHILENTER (2023). *Impacto Social*. Recuperado de: <https://chilenter.com/>
- [10] PAÑIWE (2020). *Reporte consolidado de sostenibilidad*. Recuperado de: <https://www.paniwe.cl/informes-y-memorias/>
- [11] KING, ALEXANDER H.. *2016 Electronics Goes Green 2016+ (EGG)*. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7829825>
- [12] SAMSUNG (2024). *Residuos de Aparatos Eléctricos y electrónicos (RAEE): Samsung*. Recuperado de: <https://www.samsung.com/pe/support/weee/>
- [13] LING ZHANG AND WENCHUN RAN AND SONGYAN JIANG AND HUIJUN WU AND ZENGWEI YUAN (2021). *Understanding consumers' behavior intention of recycling mobile phone through formal channels in China: The effect of privacy concern*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666916121000141>
- [14] ROMERO QUISPE, GUISELDA (2023). *Gestión adecuada de los residuos de aparatos celulares electrónicos y eléctricos (raee), estudio de caso en los ciudadanos de la ciudad de el alto, distrito 3*. Recuperado de: <https://repositorio.upea.bo/jspui/bitstream/123456789/548/4/PROYECTO%20GISELDA.pdf>
- [15] KING, ALEXANDER H. (2016). *When agendas align: Critical materials and green electronics*. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7829825>
- [16] APPLE (2023). *Environmental Progress Report*. Recuperado de: https://www.apple.com/cl/environment/pdf/Apple_Environmental_Progress_Report_2024.pdf
- [17] FORTI, VANESSA AND BALDÉ, KEES AND KUEHR, RUEDIGER (2018). *E-waste statistics: guidelines on classifications, reporting and indicators*. Recuperado de: http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/1188/CIIP12_0973_0984.pdf?sequence=1
- [18] STEP (2019). *What is e-waste?*. Recuperado de: <https://www.step-initiative.org/e-waste-challenge.html>
- [19] BCN (1992). *Decreto 685 promulga el convenio de basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación*. Recuperado de: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894>
-

-
- [20] DANIEL OTT AND CARLOS HERNANDEZ AND NATALI LORA (2022). *Movimientos transfronterizos de RAEE en america latina*. Recuperado de: https://www.step-initiative.org/files/_documents/publications/Movimientos%20Transfronterizos%20de%20RAEE%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina.pdf
- [21] WAGNER, M AND BALDÉ, CP AND LUDA, V AND NNOROM, IC AND KUEHR, R AND IATTONI, G (2022). *Monitoreo Regional De Los Residuos Electrónicos*. Recuperado de: https://residuoselectronicosal.org/wpcontent/uploads/2022/01/REM_LATAM_2022_ESP_Final.pdf
- [22] APPLE (2024). *News and Results*. Recuperado de: <https://investor.apple.com/investor-relations/default.aspx>
- [23] ALL ABOUT GERMANY (2024). *The Pfand system: how to return bottles in Germany*. Recuperado de: <https://www.how-to-germany.com/pfand-in-germany/>
- [24] LG (2024). *Vida Util Productos LG*. Recuperado de: <https://www.lg.com/cl/vida-util-productos-lg/>
- [25] PLANETA LIMPIO (2024). *Servicios*. Recuperado de: <https://www.reciclaplanetalimpio.cl/servicios/>
- [26] GIUSEPPE PODERATI AND HUA JI (2023). *A study of the legislative tools to phase out e-waste in an ever-evolving digital world: environmentally sound initiatives and measures in China, the European Union, Ghana, India, Samoa, Singapore, and South Africa*. Recuperado de: https://ceridap.eu/pdf/estratti/Estratto-10.13130_2723-9195_2023-3-11.pdf
- [27] ERI (2024). *State E-Waste Legislation in the U.S.*. Recuperado de: <https://eridirect.com/sustainability/us-legislation/>
- [28] SIMONE MACHADO SANTOS AND OLADELE A. OGUNSEITAN (2022). *E-waste management in Brazil: Challenges and opportunities of a reverse logistics model*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422002085>
- [29] UNITED KINGDOM (2023). *Regulations: Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)*. Recuperado de: <https://www.gov.uk/guidance/regulations-waste-electrical-and-electronic-equipment>
-

- [30] TEC-CHECK (2020). *Consumo sustentable y reciclaje de residuos electrónicos: México y Alemania*. Recuperado de: <https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Consumo-sustentable-y-reciclaje-de-residuos-electr%C3%B3nicos-M%C3%A9xico-y-Alemania.pdf>
- [31] ÁNGEL CAMACHO AND DIEGO ESCOBAR (2020). *Metodología para la identificación y clasificación de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Colombia*. Recuperado de: <https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Consumo-sustentable-y-reciclaje-de-residuos-electr%C3%B3nicos-M%C3%A9xico-y-Alemania.pdf>
- [32] RECYCLA (2024). Recuperado de: <https://www.recycla.cl/>
- [33] ELECTRONÍA CIRCULAR (2024). Recuperado de: <https://www.electronicacircular.cl/#:~:text=Somos%20una%20empresa%20que%20se,la%20disposici%C3%B3n%20final%20de%20desechos.>
- [34] DEGRAF (2024). Recuperado de: <https://degraf.cl/>
- [35] CHILERECICLA (2024). Recuperado de: <https://www.chilerecicla.com/>